

ANÁLISE DE REDES DE COMUNICAÇÃO NÃO INVASIVAS PARA RETROFITTING PREDIAL

HELGER A. A. MUÑOZ, ROBERTO DE SOUZA BAPTISTA, ADOLFO BAUCHSPIESS

Laboratório de Automação, Visão e Sistemas Inteligentes - LAVSI
Grupo de Robótica, Automação e Visão Computacional - GRAV
Departamento de Engenharia Elétrica - Universidade de Brasília
70910-900 - Brasília – DF

E-mails: helger@unb.br, rsb82@terra.com.br, adolfobs@unb.br

Abstract— In the design of a new building automation network, especially in existing installations, two communication technologies become interesting: networks with no new wires and wireless networks. In environments already constructed it may not be possible to introduce a new cable network. Another problem is the growth of several new technologies and the use of different cabling structures which increases the quantity and variety of cables within a network. This paper addresses two technologies: PLC (Power Line Communication) and wireless, specifically ZigBee, showing their possible applications in real building environments.

Keywords— Building Automation Network, Power Line Communication, ZigBee.

Resumo— No projeto de uma nova rede para automação predial, principalmente em instalações já existentes, duas tecnologias de comunicação se mostram interessantes: redes sem novos fios e redes sem fio. Em ambientes já construídos pode não haver a possibilidade de se introduzir uma nova rede de cabos. Outro problema é o crescimento de diversas novas tecnologias que utilizam estruturas de cabeamento distintas, o que aumenta a quantidade e a variedade de cabos dentro de uma rede. Este trabalho aborda duas tecnologias: comunicação via rede elétrica, PLC (Power Line Communication) e sem fio, especificamente ZigBee, mostrando suas possíveis aplicações em ambientes prediais reais.

Palavras-Chave— Redes para Automação Predial, Comunicação Via Rede Elétrica, ZigBee.

1 Introdução

A incorporação de novas tecnologias nas instalações prediais tem se convertido em uma ferramenta forte para o bom gerenciamento, aproveitamento e racionalização dos recursos, oferecendo assim uma estrutura mais confiável com um melhor conforto para seus ocupantes. O desenvolvimento no mercado de uma grande variedade de dispositivos eletrônicos que permitem o controle de processos tem atraído o interesse de diversas áreas do conhecimento. O mercado brasileiro de automação residencial apresentou um crescimento médio de 30% entre 2005 e 2008 (AURESIDE, 2009), com demanda principalmente nas áreas de segurança, entretenimento e gestão de energia.

Para facilitar a interoperabilidade entre os diferentes dispositivos e padronizar a comunicação da interface entre computador/dispositivo deste tipo de tecnologia, surge a necessidade da criação de protocolos de comunicação. Hoje em dia no mercado de automação industrial muitos protocolos são utilizados e difundidos, entre eles Profibus, CAN e Fieldbus Foundation, cada um deles oferecendo características próprias de seu funcionamento nas diferentes aplicações. Entretanto em redes de dados para sistemas de automação predial ainda não existem protocolos robustos, padronizados e com boa aceitação pelo mercado, comparado com os protocolos já estabelecidos para a automação industrial.

O desenvolvimento de novas tecnologias que conseguem atingir altas taxas de transmissão de dados e melhoram o desempenho de redes voltadas para o uso da automação residencial gerou o aparecimento de diversos padrões de redes com fio, sem fio e sem novos fios, assim como padrões com redes mistas e padrões proprietários, com se mostra na Figura 1, (Takako, *et al.*, 2006).

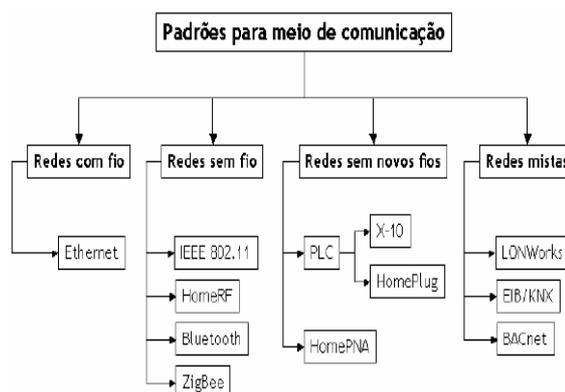


Figura 1. Padrões para Automação Predial.

Em determinadas aplicações a utilização da infraestrutura já existente na rede de distribuição de energia elétrica para a transmissão de dados vem se apresentando cada vez mais como uma alternativa a ser explorada (Smartlabs, 2006).

Outra ferramenta que facilita a gestão nos prédios são as redes sem fio. Hoje em dia muitos dispositivos

podem conectar-se graças a este tipo de sistema (Wanner, 2006).

A utilização de tecnologias sem novos fios oferece benefícios para seus usuários, como mobilidade e redução dos custos no momento da instalação e expansão da rede. Porém, as velocidades de transmissão (mantendo o baixo custo do dispositivo), a interferência externa, a perda de pacotes e a segurança são fatores que limitam suas aplicações.

Este trabalho analisa duas técnicas de comunicação que vêm se destacando em projetos de automação predial: comunicação via rede elétrica (sem novos fios) e a comunicação sem fio (ZigBee). Esta análise será baseada em dois projetos complementares desenvolvidos no LAVSI (Laboratório de Automação, Visão e Sistemas Inteligentes): a instalação de uma rede ZigBee e o projeto de um modem PLC. Serão analisadas as vantagens e limitações de cada técnica e por fim será feita uma análise crítica e comparativa entre as mesmas.

Nas redes de comunicação sem fio em baixa/media velocidade observa-se uma padronização já estabelecida e aplicada do padrão ZigBee, sendo um padrão aceito tanto pelo mercado quanto pelo IEEE. Nas redes de comunicação via rede elétrica em baixa velocidade, não existe um protocolo padrão como o ZigBee em redes sem fio. Os padrões mais aceitos pelo mercado de automação predial atualmente são os padrões X-10 e Insteon.

2 Técnicas de comunicação para Automação

2.1 Padrão ZigBee

ZigBee é um padrão de comunicações sem fio desenvolvido pela ZigBee Alliance, utilizado em sua grande maioria em aplicações de redes de sensores sem fio, controle e automação (em ambientes industriais, residenciais e hospitalares). É um conjunto padronizado de soluções que podem ser implementadas por qualquer fabricante. Esta tecnologia está baseada no padrão IEEE 802.15.4 de redes sem fio de área pessoal WPAN (Wireless Personal Area Network), como mostra a Figura 2.

ZigBee possui a capacidade de comunicar uma série de dispositivos fazendo com que eles trabalhem eficientemente entre si. Esta tecnologia utiliza um transmissor e um receptor que operam com uma baixa potência de transmissão e tem como objetivo aplicações que requerem comunicações confiáveis e seguras com baixa taxa de transmissão no envio dos dados além de maior vida útil de suas baterias.

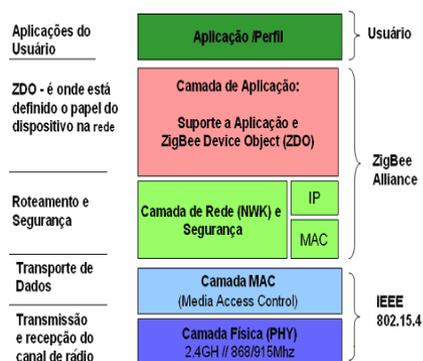


Figura 2. Pilha de ZigBee. (www.zigbee.org)

2.2 Dispositivos ZigBee

A ZigBee comumente define dois tipos de dispositivos: Dispositivo de função completa (FFD-Full Function Device), e dispositivo de função reduzida (RFD-Reduce Function Device). Um FFD pode ser utilizado como coordenador ou router, por outro lado um RFD é utilizado como dispositivo final (End Device).

- *Coordenador ZigBee (ZigBee Coordinator, ZC)*: É o tipo de dispositivo mais completo e portanto requer uma memória e capacidade de processamento maior. Tem que existir um por rede. Suas funções são controlar a rede e os caminhos que os pacotes tem que percorrer através dos dispositivos da rede.

- *Router ZigBee (ZigBee Router, ZR)*: Interconecta dispositivos separados na topologia da rede, além do mais oferece um nível de aplicação para a execução do código de usuário.

- *Dispositivo Final (ZigBee End Device, ZED)*: Possui a funcionalidade necessária para comunicar-se com um nó pai (um coordenador ou um router). Este tipo de nó pode estar dormindo a maior parte do tempo, aumentando assim a vida útil das baterias com um requerimento mínimo de memória.

2.3 Topologias ZigBee

Uma rede ZigBee pode ser configurada de acordo com as seguintes topologias: estrela, agrupamento em árvore e mesh (malha).

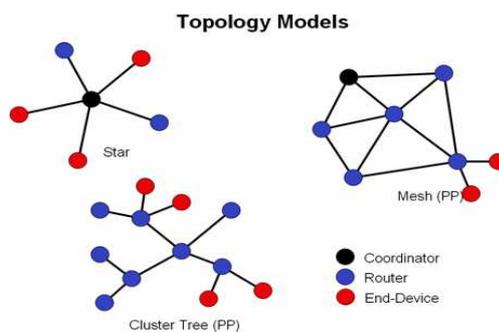


Figura 3. Modelos topologias ZigBee. (www.zigbee.org)

Na topologia tipo estrela, a rede é controlada por um só dispositivo coordenador. O coordenador será responsável por manter os dispositivos de rede incluindo os dispositivos finais. Nas topologias malha e estrela, o coordenador da rede Zigbee tem a tarefa de iniciar a rede e armazenar seus parâmetros, além de supervisionar constantemente se a rede será estendida com o uso de roteadores ZigBee. Em topologias de árvore os roteadores movem dados e controlam mensagens através do roteamento hierárquico.

O ZigBee é um padrão de redes sem fio que trabalha geralmente na banda dos 2.4 GHz assim como as tecnologias Bluetooth e Wi-Fi possui, no entanto, diferenças significativas como mostra a Tabela 1.

Tabela 1. Comparativo Tecnologias sem Fio. (www.zigbee.org)

	ZigBee™ 802.15.4	Bluetooth™ 802.15.1	Wi-Fi™ 802.11b	GPRS/GSM 1XRTT/CDMA
Application Focus	Monitoring & Control	Cable Replacement	Web, Video, Email	WAN, Voice/Data
System Resource	4KB-32KB	250KB+	1MB+	16MB+
Battery Life (days)	100-1000+	1-7	.1-5	1-7
Nodes Per Network	255/65K+	7	30	1,000
Bandwidth (kbps)	20-250	720	11,000+	64-128
Range (meters)	1-75+	1-10+	1-100	1,000+
Key Attributes	Reliable, Low Power, Cost Effective	Cost, Convenience	Speed, Flexibility	Reach, Quality

2.4 Comunicação via rede elétrica

A possibilidade de se utilizar a rede elétrica para realizar transferência de dados não é uma novidade. Existem patentes registradas sobre a transmissão de informação através da rede elétrica que datam de 1924. Desde 1950 as companhias de distribuição de energia elétrica utilizam a própria rede para enviar comandos de controle simples como, por exemplo, ligar e desligar a iluminação pública. Desde então várias tecnologias foram desenvolvidas com o intuito de explorar essa possibilidade de transmitir dados através da rede elétrica conhecida com PLC (Power Line Communication). Duas tecnologias merecem destaque: o código X-10 e o protocolo Insteon.

2.5 Código X-10

O código X-10 foi desenvolvido há mais de 20 anos e é hoje uma referência no desenvolvimento de dispositivos de comunicação via rede elétrica em baixas velocidades, que são utilizados principalmente em projetos de automação predial (Zahariadis, 2003).

A sincronização na transmissão X-10 é feita no ponto de cruzamento do zero da rede elétrica. O objetivo do projeto deve ser a transmissão mais próxima possível do ponto de cruzamento do zero da rede

elétrica devendo ocorrer no máximo 200 microssegundos após o ponto de cruzamento do zero. O nível lógico 1 é representado por um curto sinal de 1ms e frequência de 120 KHz no ponto de cruzamento do zero, a ausência deste sinal representa um nível lógico 0.

O código de transmissão completo dura 11 ciclos da rede elétrica, o que restringe sua taxa de transmissão. Os dois primeiros ciclos representam o Código de Início (*Start Code*). Os quatro próximos ciclos representam o Código Local (*House Code*) e os últimos cinco ciclos representam um Código Numérico (1 a 16) ou um Código de Função (Liga, Desliga, etc.), como mostra a Figura 4. O conjunto completo (Código de Início, Código Local e Código Numérico ou Código de Função) deve sempre ser transmitidos em grupos de 2 conjuntos e respeitando um intervalo de 3 ciclos da rede elétrica entre cada grupo.

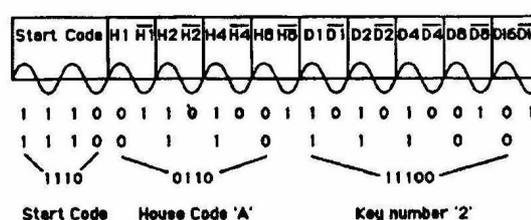


Figura 4. Estrutura código X-10. (www.x10.com)

2.6 Insteon

O padrão Insteon foi desenvolvido pela SmartLabs a partir do protocolo X-10 (SmartLabs Technology, 2006). Além de ser mais robusto que o X-10 ele é utilizado tanto para redes sem fios (concorrente Z-Wave e ZigBee) quanto para comunicação via rede elétrica. Seu protocolo de comunicação permite taxas de transmissão mais rápidas que o X-10, além de incluir detecção de falhas. Com pouco mais de 5 anos de desenvolvimento, este padrão, apesar de se mostrar promissor, ainda não está consagrado pelo mercado como o X-10. Semelhante ao X-10, no entanto, é o fato dele ainda não ser um padrão internacional.

2.7 Outros Protocolos PLC

Devido a falta de um padrão internacional para sistemas de comunicação via rede elétrica, existe o surgimento contínuo de novas propostas de protocolos como o caso de HomePlug, UPB(Universal Power Line Bus) e outros baseados em protocolos já existentes. Um dos problemas decorridos deste fato é que não existe uma classificação qualitativa clara relacionando as taxas de transmissão para redes simples com baixas velocidades, visando a comunicação entre componentes para automação e redes que visam uma transmissão de dados complexos. A utilização de cada padrão depende ainda em grande parte de sua aceitação no mercado.

3 Técnicas de Comunicação Implementadas

A abordagem assumida pelo grupo de pesquisa do LAVSI (Laboratório de Automação, Visão e Sistemas Inteligentes) no desenvolvimento de aplicações em automação predial, foi a de aplicar duas técnicas de comunicação em um ambiente real, uma sem fios via rede elétrica com o desenvolvimento de uma topologia de hardware de baixo custo, e outra sem fio baseada já no padrão existente ZigBee.

3.1 Implementação de uma rede sem fio ZigBee

A qualidade e viabilidade do enlace de comunicação e a propagação das ondas de rádio nas redes de sensores sem fio que utilizam ZigBee podem ver-se afetadas consideravelmente pelas condições ambientais e climáticas do lugar onde elas funcionam, além das interferências induzidas por outras tecnologias sem fio que estão presentes em um ambiente predial real (Thelen, *et al.*, 2005).

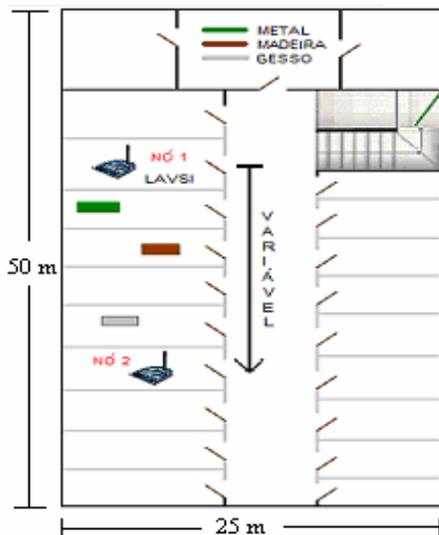


Figura 5. Planta do ambiente de testes.

Os testes realizados avaliam a relação entre a PRR (*Packet Reception Rate*) e o RSSI (*Received Signal Strength Indicator*) em vários níveis de potência transmitida em diferentes distâncias em um ambiente predial no LAVSI com diversos obstáculos prediais (como se mostra na Figura 5), utilizando como plataforma para rede sem fio os módulos Xbee da Maxstream (Maxstream, 2006) em configuração de uma rede ZigBee tipo estrela (Zigbee Alliance, 2006). Dessa forma, é possível analisar o funcionamento da rede a partir de sua resposta para modelar seu comportamento e solucionar suas limitações em projetos futuros.

3.2 Proposta do Hardware para comunicação PLC

Na concepção inicial do modem algumas escolhas foram feitas. Optou-se por utilizar a técnica de modu-

lação FSK (Frequency Shift Keying) por ela se mostrar uma técnica de simples implementação e apresentar maior robustez em relação a outras técnicas aplicadas na comunicação via rede elétrica como, por exemplo, a modulação ASK (Amplitude Shift Keying). A frequência mínima escolhida foi de 300kHz pois esta frequência se encontra muito acima da frequência fundamental da rede elétrica, afastando-se assim de possíveis ruídos presente na rede.

A concepção do modem se dividiu em duas etapas: o modulador e o demodulador. O diagrama de blocos do circuito emissor do modem está representada na Figura 6.



Figura 6. Concepção do emissor do emissor

A primeira etapa é o circuito modulador. Este circuito deve receber como entrada um sinal digital que, neste caso, varie entre 0 e 5 Volts e gerar em sua saída um sinal cuja frequência varie entre dois valores, cada um representando um nível lógico. Este sinal deve ser amplificado pois pode sofrer atenuação ao ser injetado na rede elétrica, sendo portanto necessária a implementação de um circuito amplificador de potência. Por último deve-se implementar um filtro para garantir que o sinal transmitido seja injetado na rede e que nenhum sinal proveniente da rede elétrica entre no circuito. O diagrama de blocos do circuito receptor está representado na Figura 7.



Figura 7. Concepção do receptor.

Este circuito deve receber o sinal modulado da rede elétrica e gerar um sinal digital. Inicialmente este circuito deve filtrar o sinal da rede elétrica para processar apenas o sinal transmitido. Em seguida este sinal deve passar por um comparador, pois o sinal pode ter sido atenuado ao longo da rede elétrica deformando assim sua forma de onda. O sinal condicionado é passado ao circuito demodulador que gera na sua saída um sinal que assume dois valores distintos de tensão, cada um representando um nível lógico. Finalmente um comparador garante que a saída do circuito seja 0 ou 5 V.

A implementação em hardware foi feita utilizando um circuito PLL (Phase Locked Loop) CD 4046 configurado para operar entre 300 e 400kHz como modulador ou demodulador FSK (Frequency Shift Key). As etapas de potência, comparação e filtragem foram implementadas com componentes amplamente disponíveis: resistores, capacitores, amplificadores opera-

cionais e transistores. Por fim temos um circuito optoacoplador 5N136 para proteção. Os componentes escolhidos foram selecionados baseados em seu baixo custo e fácil acesso.

4 Resultados Obtidos

4.1 Resultados rede ZigBee

Os Resultados mostram que os dispositivos (nó 1 e nó 2) ZigBee trabalhando a sua máxima potência de transmissão (0 dBm), apresentam uma perda considerável de pacotes e uma degradação da RSSI quando eles operam na distancia limite de cobertura indoor (30 metros), como se mostra na Tabela 2. Os resultados mostram que esta perda é consequência do ruído presente no ambiente, interferência com outros transmissores ou dispositivos sem fio que trabalham na mesma frequência (Wi-Fi, Bluetooth), além disso consequência também dos diferentes materiais existentes no ambiente que se convertem em obstáculos que diminuem a intensidade do sinal propagado.

Tabla 2. Resposta Indoor dos nós a 0 dBm.

Distância	PRR (%)	RSSI (dBm)	Latência Tx/Rx de um pacote
5 m	99	-67	4.55 ms
10 m	92	-84	5.02 ms
15 m	77	-90	8.74 ms
20 m	60	-92	11.67 ms
25 m	-	-	-
30 m	-	-	-

Para valores superiores à sensibilidade do receptor (-92 dBm) os dados recebidos são inválidos e não apresentam correlação com a PRR medida, como se observa na Tabela 3 para os diferentes tipos de obstáculos.

Tabela 3. Resposta Indoor dos nós com obstáculos.

POTENCIA	DISTANCIA	MADEIRA		CONCRETO		METAL	
		PRR (%)	RSSI	PRR (%)	RSSI	PRR (%)	RSSI
P 4 - 6 dBm	25 m	82	-94	67	-90	75	-88
	30 m	45	-94	52	-94	68	-92
P 5 -10 dBm	25 m	71	-94	40	-94	25	-94
	30 m	**	**	15	-94	**	**

4.2 Resultados comunicação PLC

Os testes realizados utilizando as concepções apresentadas foram executados em uma rede elétrica controlada, isolada do resto da rede por um varivolt. A tensão na rede foi variada de 0 a 220V RMS, 60Hz em uma rede com 20 metros de comprimento. Para testar a capacidade máxima de transmissão uma onda quadrada (representando um trem de bits 0 e 1), de frequência variável foi, injetada como sinal de entrada do circuito modulador e observou-se até qual frequência o recebimento do sinal era viável.

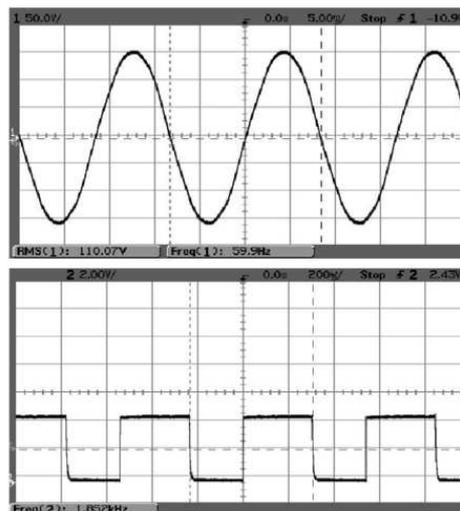


Figura 8. Sinal rede elétrica e sinal de saída do receptor.

Na Figura 8 vemos o sinal recebido quando a frequência do sinal de entrada é de 1.8kHz (que representaria uma taxa de transmissão de cerca de 3,6 kbps) e a tensão na rede de 110 V RMS, 60 Hz.

Como resultados obtidos, vemos que a concepção proposta funciona corretamente para taxas de transmissões até 3Kbps, em um circuito de baixo custo. As distorções apresentadas acima desta faixa de operação se devem principalmente ao tempo de resposta e precisão dos componentes utilizados.

5 Conclusões

No desenvolvimento de aplicações para automação predial as duas tecnologias apresentadas satisfazem os requerimentos usuais e permitem a implementação de redes de comunicação otimizando os recursos já disponíveis. Cada tecnologia apresenta suas limitações e vantagens em comparação uma com a outra, como podemos observar na Tabela 4.

A utilização das tecnologias PLC em prédios já construídos apresenta uma boa robustez e alcance para aplicações simples de controle, porém seu alcance está restrito dentro do mesmo circuito elétrico.

A utilização do ZigBee é muito mais flexível na localização dos nós, mas seu alcance é restrito pela distância e ocorrência de obstáculos entre um nó e outro.

Tabela 4. Comparativo meios analisados.

	Rede Elétrica (concepção proposta)	Rede ZigBee (concepção proposta)
Custo com Infraestrutura	Nenhum	Nenhum
Tipo do Sinal Tx.	Digital	Analógica, Digital
Limitação do Alcance	Tx dentro do mesmo circuito.	Limitada pela potencia e obstáculos.
Taxa de Transmissão	3 KBps	250 KBps
Custo	10x << ZigBee	10x >> concepção proposta
Topologias	Estrela, malha e arvore	Estrela, malha e arvore
Alcance	20 metros	Confiável até 20 metros

Uma solução clara para otimizar os custos da implementação da rede é utilizar a combinação das tecnologias RF (Rádio Frequência) e PLC. Esta é uma tendência atual no mercado, que está sendo realizada com maior empenho pela SmartLabs.

Cada tecnologia apresenta uma determinada flexibilidade, além da possibilidade de combinação das duas técnicas o que permite uma ampla personalização de projetos, ficando a critério do projetista a configuração final da rede.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pelo auxílio e apoio recebido na realização deste artigo.

Referências Bibliográficas

AURESIDE, Associação Brasileira de Automação Residencial, <http://www.aureside.org.br/>, Brasil, São Paulo.

Cabrini F. H. (2006). Caracterização e análise de desempenho de uma rede de sensores sem fio. *Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Universidade de São Paulo, São Paulo.*

HomePlug Power Alliance. (2009). <http://www.homeplug.org>, visitado em 14/08/2009.

Hrasnica, H., Haidine A., Lehnert R. (2004). *Broadband Powerline Communications Networks: Network Design*, John Wiley and Sons.

IEEE 802.15.4. (2006). IEEE Standard for Information technology Part 15.4: *Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LRW-PANs)*. Print: ISBN 0-7381-4996-9.

L. Almeida, S. Boverie. (2003). *Intelligent components and instruments for control applications 2003 (SICICA 2003): a proceedings volume from the 5th IFAC International Symposium*, Aveiro, Portugal, 9-11 July 2003, International Federation of Automatic Control, Elsevier.

MaxStream (2006). XBee OEM RF Modules, ZigBee/802.15.4.

Powerline Control Systems, <http://www.pcslighting.com>, visitado em 07/08/2009.

Revista Lumiere Electric (2008). *A Integração pede Parâmetros*. Edição 126. 53 – 57p. São Paulo, Brasil.

Son D., Krishnamachari B. y Heidemann J. (2004). Experimental study of the effects of Transmission Power Control and Blacklisting in Wireless Sensor Networks. *Sensor and Ad Hoc Communications and Networks*. Communications Society Conference, 289 – 298p.

SmartLabs Technology. (2006). Insteon Compared, U.S.A.

Technica Pacifica (2005). *Easy X10 Projects for Creating a Smart Home*, Indy Tech Publishing.

Thelen J., Goense D. y Langendoen K. (2005). Radio Wave Propagation in Potato Fields, *1st workshop on wireless network measurement, Riva del Garda, Italy*.

Wanner, L. F. (2006). Um Ambiente de Suporte à Execução de Aplicações em Redes de Sensores sem Fios. *Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina.*

Wöfle G., F. M. Landstorfer., R. Gahleitner, y E. Bonek. Extensions to the field strength Prediction technique based on dominant paths Between transmitter and receiver in indoor wireless communications, *2nd European Personal and Mobile Communications Conference 1997*, Bonn, Germany, pp. 10-18.

Zahariadis, T.B. (2003). *Home Networking Technologies and standards*. Artech House.

ZigBee Alliance. (2006) *ZigBee Document 053474r17 - ZigBee Specification*.